

# 面向急救人员的传感器融合式精密定位和跟踪方法

Bob Scannell  
ADI公司

急救人员深入精确定位无GPS信号的基础设施，十年来一直是消防安全和应急人员群体难以达到的目标。这个目标就是在十几分钟内精确定位到几米以内。无独有偶，这些目标几乎与战术导弹的引导系统相同，但当今的解决方案至少要10000美元，尺寸、重量和功耗高得吓人，并不可行。同样的解决方案用于急救作业领域的早期概念验证演示，但事实证明实际部署存在（成本和尺寸）障碍。

因此应急人员定位仍然是现今最复杂的定位应用。虽然没有可以实现预期目标的灵丹妙药式传感器，但必需有多个技术节点，每个节点都具有前沿性能。此外，它涉及大规模传感器融合和系统集成方法。

高性价比、高性能MEMS惯性传感器现可为潜在的解决方案提供种子。本文提出一个完整的传感器到云传感器融合系统设想，包括高度复杂的算法。

下面表1描述了主要方法和实现技术。

表1. 契合关键目标的完整系统方法

| 目标                     | 方法           |
|------------------------|--------------|
| 无基础设施的运动/位置检测方法        | 惯性传感器        |
| 能够精确确定绝对参考点            | UWB 无线电测距    |
| 通过传感器处理实现所有随机发射信号的最佳合并 | 卡尔曼滤波和粒子滤波算法 |
| 鲁棒的通信链路                | 本体和回程可靠通信    |
| 地图、搜索/救援协调             | 云分析和数据基础     |

系统开发人员所面对的主要挑战可总结为以下三大类：程序、环境和传感器融合。在设计多传感器解决方案的过程中，对于急救任务的高度复杂性以及各种极端环境带来的挑战，必须要有全面的了解。

## 程序

火灾搜救任务必须严格按照救援程序执行，同时必须适应完全不确定的现实生活场景。可部署的精确定位系统必须在最大限度内适应现有的流程和设备。这就要求无需任何固定或临时基础设施即可操作，因为急救人员通常已背负重要设备（重量和成本）。任何系统开发都应遵从实现小型嵌入式设备的早期阶段目标且单位急救人员成本与智能手机相似。有必要指出，目前智能手机的定位性能严重不足，因此面临着挑战。图1概述了理想系统最相关的主要和次要运行要求。

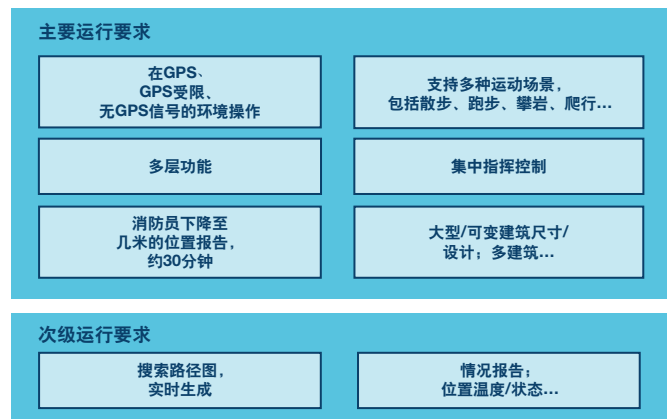


图1 关键作业要求定义急救人员产品设计问题。

## 环境

虽然GPS覆盖使得室外定位无处不在，但并不支持完全室内或混合（室内/挑战室外）环境。一些室内定位环境（例如购物中心）可以通过安装基础设施实现 — 但是，这些既不精确也不切合急救作业的实际目标。对于追踪系统设计人员，必须考虑以下因素来确定设计、组件选择和降低风险的方法：

- ▶ RF 传播路径。
- ▶ 传感器温度/冲击影响。
- ▶ 基础设施损坏/改变的可能性。

传感器融合

先前提到的过程和环境中的挑战是传感器融合问题核心设计方法的基础。相关的主要传感模式用于在关键操作模式中提供高性能，同时互补传感器则扫除每个应用阶段的关键障碍，如表2所示。

表2. 候选传感器的优势和不足

| 传感器       | 优势   |      |       | 不足    |
|-----------|------|------|-------|-------|
|           | 绝对基准 | 动态响应 | 无基础设施 |       |
| 外部 GPS/RF | •    |      |       | 无视线存取 |
| 惯性 MEMS   |      | •    | •     | 漂移误差  |
| 磁         | •    |      | •     | 场干扰   |
| 气压        | •    |      | •     | 环境敏感度 |

由于MEMS无需外部基础设施，并能在动态环境下提供精密检测，因此如果能在极端环境中工作以及如果与合适的次级传感器配合使用，它将在总体解决方案中发挥主要作用。

MEMS进展

消费类惯性MEMS设备已迅速转向商品化（比较注重性能规格），军用MEMS价格仍然异常高昂，工业和汽车业MEMS（参见图2）目标是同时保证性能和成本水平。

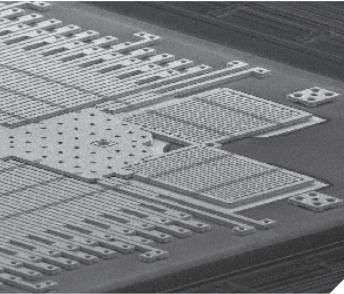


图2. 即使在极端运动动力学条件下，工业MEMS设备也能够降低噪声和稳定运行。

与消费类领域相比，工业和汽车领域需要在相对复杂和极端的环境中精确检测，供应商集成的架构特性专门针对会影响性能的因素，例如，离轴运动、震动和冲击事件，以及时间和温度引起的误差。虽然这些设计特性往往最容易通过更大的传感器或更昂贵的处理过程来适应，汽车业和越来越重要的工业市场的经济压力，迫使采用更关键的方法设计性能，并实现成本效益。最终专门针对工业应用开发出具有高性价比的MEMS组件，如表3所示，对三个主要类别组件的传送距离相关误差百分比进行了对比。工业级MEMS可提供与高端军事设备一样优质的导航能力，同时与商品化消费MEMS组件有合理的价格差。

表3. MEMS导航性能级别与传送距离误差百分比

| MEMS 性能 | 误差，传送距离的 % |
|---------|------------|
| 军用级     | ~0.1       |
| 工业级     | ~0.5       |
| 消费级     | >>25       |

这种优势的原因需要仔细观察与目标应用相关的MEMS组件的关键规格。对于急救作业目标，MEMS传感器的一个关键任务是识别当前的运动类型并测量步数和步幅。不同于行人运动模型，急救人员运动将更加随机、动态和难以识别。此外，由于存在精度目标，传感器必须能够抑制错误运动，例如震动、冲击以及脚或身体左右摇晃/摇摆。急救人员模型并非对于行人模型可能足够的传感器噪声简单精度分析，它还必须包括关键规格，例如线性g抑制和跨轴灵敏度。图4对工业和低端MEMS设备的三个重要RSS误差规格进行了比较。很容易看出，噪声并非不利因素，而很多低端设备未指定的线性g和跨轴性能却是主要的问题。

表4. 工业和低端MEMS的RSS误差比较，表明噪声不是性能影响因素

| MEMS 规格          | 工业    |       | 低端     |       |
|------------------|-------|-------|--------|-------|
| 性能               | 规格    | 影响    | 规格     | 影响    |
| 噪声密度 (°/sec/√Hz) | 0.004 | 0.036 | 0.0100 | 0.089 |
| 线性-g (°/sec/g)   | 0.01  | 0.020 | 0.100  | 0.200 |
| 跨轴 (%)           | 0.09  | 0.090 | 2.00   | 2.000 |
| 预测误差 (°/sec)     |       | 0.099 |        | 2.012 |

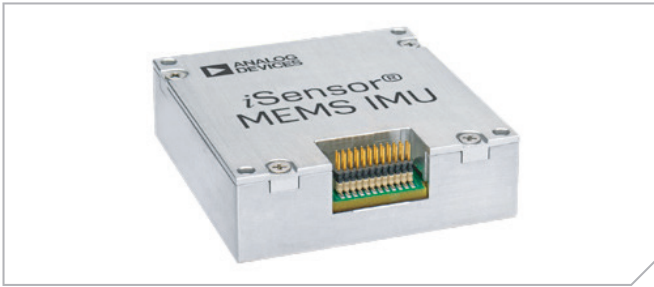
假设条件：50 Hz BW，2 g rms震动，100°/sec离轴旋转。

虽然只是短短几年前，高性能惯性传感器仅能通过光纤等方法来实现，现在工业MEMS工艺已明确证明它们完全可以胜任，关键导航指标比较见以下表5。

表5. 高性价比工业MEMS与传统光纤陀螺仪关键导航指标的比较

| 误差 | 工业 MEMS (°) | 光纤 (°) |
|----|-------------|--------|
| 航向 | 0.14        | 0.13   |
| 滚动 | 0.10        | 0.08   |
| 俯仰 | 0.10        | 0.08   |

工业MEMS IMU示例为ADIS16488A，如图2所示，其中包含10自由度高性能传感，并适合最苛刻的应用，商业航空电子设备（如表6所示），证明了其对于急救极端应用已做好准备。



**表6. ADIS16488A MEMS IMU；高性价比和成熟的高性能及可靠性**

|              |                                   |
|--------------|-----------------------------------|
| 惯性传感器，稳定性    | 5°/hr, 32 micro-g                 |
| 带宽           | 330 Hz                            |
| 线性 g 效应，振动校正 | 9 mdps/g; 0.1 mdps/g <sup>2</sup> |
| 温度系数（偏置，灵敏度） | 2.5 mdps/°C; 35 ppm/°C            |
| 温度/振动/冲击     | DO-160G, Mil-Std-810G             |
| 可靠性          | >35,000 小时                        |
| 设计保证         | D0178/254                         |

惯性MEMS性能的进步和持续验证的质量与耐用性，现正与集成方面的重大进步相结合。最后一个障碍特别具有挑战性，因为如果不精心管理，传感器尺寸与性能和耐用性成反比。具有高度战略性、协调性和挑战性的一系列工艺进步必须通过测试和合并来满足该应用所需的性能密度水平，如图3所示。

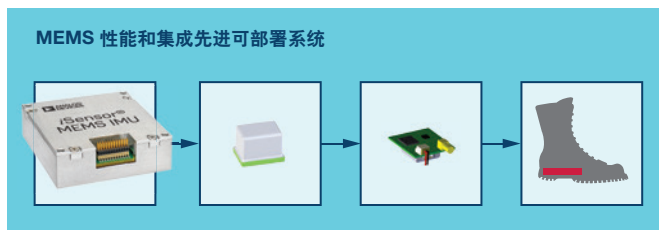


图3. 工业MEMS IMU具有先进的性能、尺寸、成本和集成度（不受影响），仅支持急救等重要应用。

## 传感器权重

针对给定的应用选择适当的传感器时，应进行深入分析，了解其在总体任务的不同阶段中的权重（相关性）。对于行人航位推算，解决方案主要取决于可用的设备（如智能手机中的嵌入式传感器），而不是通过性能设计。因此，会严重依赖GPS，与其他可用的传感器，例如嵌入惯性和磁性，仅为确定有用的位置信息发挥一小部分作用。它在外部工作正常，但在具有挑战性的城市环境或室内，GPS不可用，其他可用传感器的质量很差，存在较大差距，换言之，位置信息的质量具有不确定性。尽管先进的滤波器和算法通常用来合并这些传感器，无需任何额外传感器或质量更好的传感器，软件对于弥补不确定性差距的作用不大，最终只是大大降低了报告位置的信心。图4中为概念性说明。

### Pedestrian/Consumer Dead Reckoning

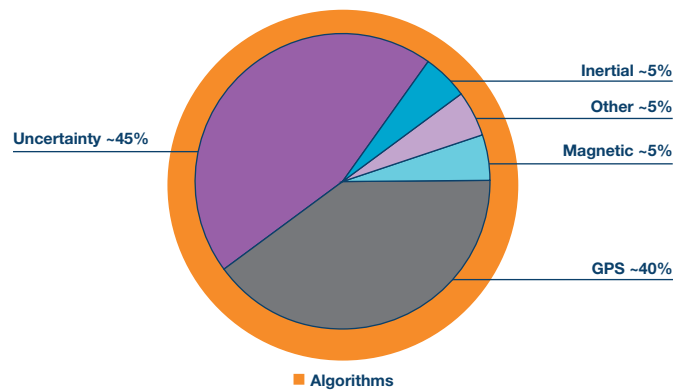


图4. 基于智能手机的行人导航主要依赖于GPS，以非优化预嵌入传感器辅助，在运动检测的高置信度或可靠的覆盖范围方面存在仅凭算法无法修复的较大差距。

相比之下，工业航位推算方案，例如急救作业，针对系统定义性能和根据具体精度要求选择组件而设计。更佳质量的惯性传感器允许其发挥主要作用，适当利用其他传感器来缩小不确定性差距。比起推算/估算可靠的传感器读数间的位置，算法在概念上更关注最佳权重、切换和传感器互相关，以及对于环境和实时运动动力学的认识（参见图5）

### Industrial Dead Reckoning

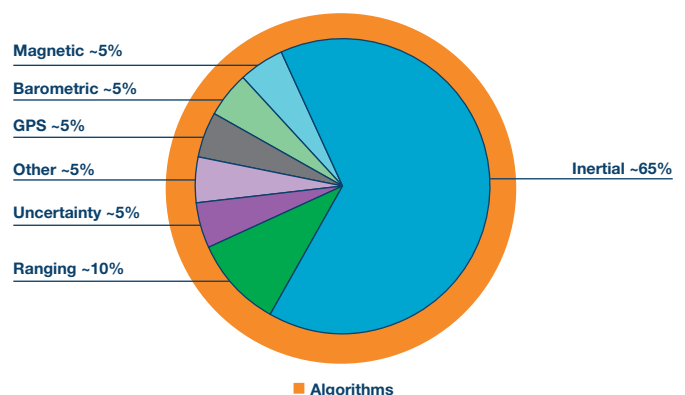


图5. 传感器专门针对全面覆盖急救任务范围进行选择，系统的精度和可靠性大大提高。

精度在以上任何一种情况下都可以通过改善质量的传感器来提高，虽然传感滤波和算法是解决方案的重要一部分，但它们本身并不能消除受限质量传感器覆盖范围的差距。

## 精确定位和映射(PLM)系统

在具体的急救人员追踪案例中，任务被划分为以下几个阶段，以便更好地评估传感器处理要求：抵达现场、部署、进入建筑内部并救援。表7.设想消防车配备了高端GPS/INS系统，能够确定到达现场车辆的位置，作为已知的参考点。从这一点直到消防员进入建筑前，存在不确定和随机运动序列，其精确位置和映射系统依赖于实施的超宽频范围，才能精确锁定消防员位置和方向。进入建筑结构后，惯性传感器成为主要追踪传感器，目标是提供几

米的定位精度。如果需要, 可将系统设计为完全依靠惯性传感器, 但也可以利用其他可用和可靠的随机发射信号, 例如UWB范围信号、磁力计校正和气压测量。如前所述, 实施的算法不仅追踪位置, 还可生成搜索模式的实时路径图。如果消防员下落或遇险, 最初路径生成的地图就是通过惯性检测引导的救援消防员的增补传感器输入。

表7. 急救任务不同阶段的传感器要求

| 任务间隔 | 主要检测 | 辅助检测    | 周期     | 精度                                                                                |
|------|------|---------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 抵达现场 | GPS  | 惯性      | —      | 锁定图                                                                               |
| 部署   | UWB  | 惯性      | 未知     | 分米                                                                                |
| 建筑内部 | 惯性   | 随机发射信号  | ~30 分钟 | 米                                                                                 |
| 救援   | 惯性   | 路径图, 其他 | 分钟     |  |

虽然高性能传感器一定是PLM系统的核心, 但以下也是实现系统的关键因素:

- ▶ 深入了解传感器组件, 以及其在压力下的漂移特性/局限性。

- ▶ 全面了解人体运动模型。
- ▶ 详细的应用级别见解和操作模式定义。

提供实施传感器融合处理的定义、指南和界限 (参见图 6)。处理的核心是粒子滤波器, 它可以随时间推移追踪多个可能的运动, 随着滤波器对其进行区分消除错误路径。传感器自身分布于消防员, 以实现最佳性能, 无线体感网以及加固型回程通信网络无缝连接消防员、救援人员、指挥与控制, 以及可行且有用的基于云的地图和协调系统。

精确定位和映射系统提供了无基础设施方法来检测位置, 利用高性能传感器和先进的算法来优化合并所有随机发射信号。系统目标是达到米级精度并生成实时路径图。工业级MEMS惯性传感器技术的进步支持PLM, 完整的系统开发方法既可解决技术障碍, 同时还能实现商业指标。

后续工作重点是集成最新一代传感器领先优势, 并适应急救作业方案的新观念。最终集成将包括优化尺寸和本体位置, 以及更完整的所需通信链路和最终系统资质实施方案。

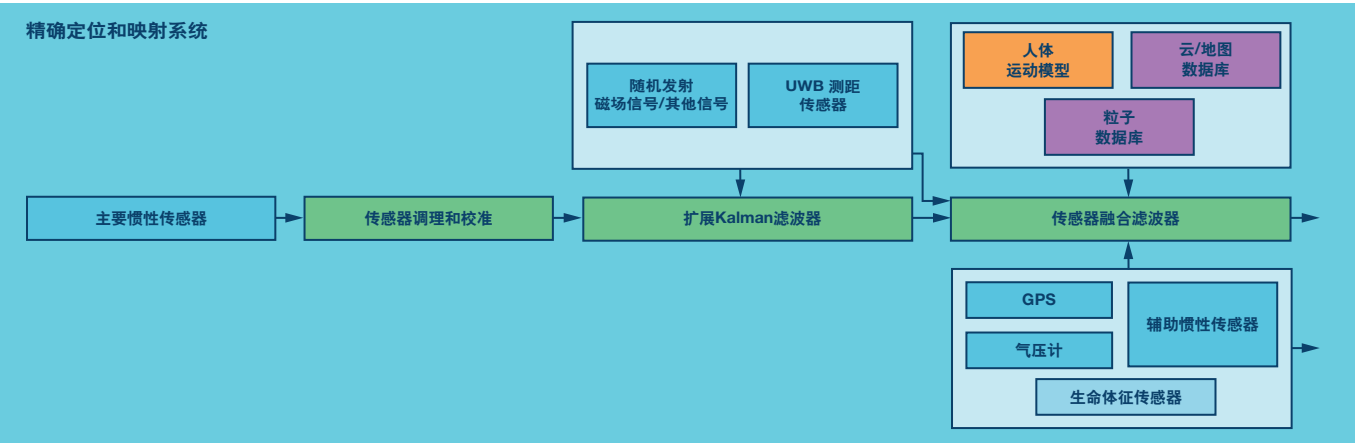


图6. PLM系统是基于高性能传感器、互补传感器滤波和处理以及云数据库和分析的完整传感器融合解决方案。输出精确位置和搜索路径图。

### 作者简介

Bob Scannell是ADI公司MEMS惯性传感器产品的业务开发经理。他在ADI公司工作已超过20年, 先后从事传感器、DSP、无线产品的各种技术营销和业务开发工作。之前他曾在Rockwell International公司从事设计和市场方面的工作。他拥有美国加州大学洛杉矶分校 (UCLA) 电气工程学士学位和美国南加州大学 (USC) 计算机工程硕士学位。

### 在线支持社区

访问ADI在线支持社区, 与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答, 或参与讨论。

请访问 [ezchina.analog.com](http://ezchina.analog.com)



中文技术论坛